

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-261160  
(43)Date of publication of application : 24.09.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/18  
// H01L 33/00

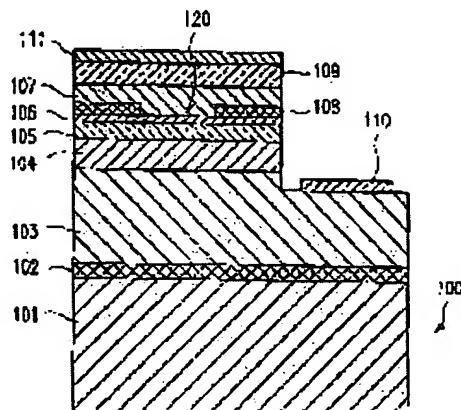
(21)Application number : 10-058603 (71)Applicant : SHARP CORP  
(22)Date of filing : 10.03.1998 (72)Inventor : UEDA YOSHIHIRO

## (54) NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a reduced drive current, improved reliability, and a stabilized oscillation transverse mode in a nitride compound semiconductor laser element.

SOLUTION: In a nitride-based compound semiconductor laser element 100, an active layer 105 is interposed between an n-type first clad layer 104 and a p-type second clad layer 107, and an amorphous or polycrystalline nitride compound semiconductor layer with high resistance is grown on the active layer 105. A striped opening 120 is formed in a wet etching step for forming a current bottleneck layer 108. Alternatively, the striped part is removed, and the second clad layer 107 is irradiated with charged particles, and a carrier trap is formed with high density to make it the current bottleneck layer 108 with high resistance.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.10.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**BEST AVAILABLE COPY**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-261160

(43)公開日 平成11年(1999)9月24日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 01 S 3/18

H 01 S 3/18

// H 01 L 33/00

H 01 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平10-58603

(22)出願日 平成10年(1998)3月10日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 上田 吉裕

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ  
ャープ株式会社内

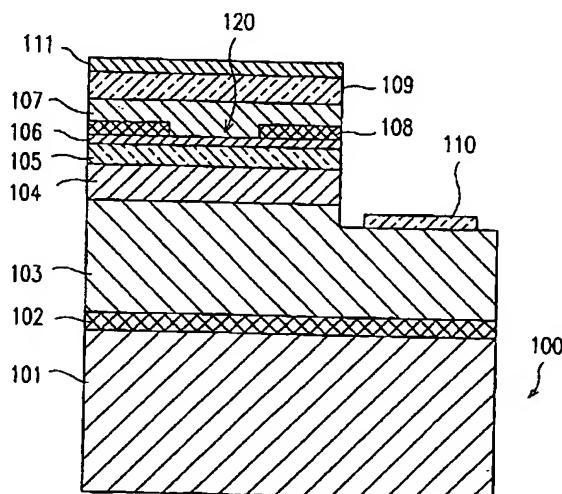
(74)代理人 弁理士 山本 秀策

(54)【発明の名称】窒化物系化合物半導体レーザ素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】窒化物系化合物半導体レーザ素子において、駆動電流の低減、信頼性の向上及び発振横モードの安定化を図る。

【解決手段】n型第1クラッド層104とp型第2クラッド層107とで挟まれた活性層105を有する窒化物系化合物半導体レーザ素子100において、活性層105の上に、非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層からなる高抵抗層を成長させ、ウェットエッチングでストライプ状開口部120を形成して電流狭窄層108とする。或いはストライプ状部分を除いて第2クラッド層に荷電粒子を照射し、キャリアトラップを高密度に形成して高抵抗な電流狭窄層108とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一対のクラッド層と、両クラッド層で挟まれた活性層と、該活性層の上方に電流通路となるストライプ状開口部を有して設けられた電流狭窄層とを有する窒化物系化合物半導体レーザ素子において、該電流狭窄層が非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を加熱して結晶化させた高抵抗層からなる窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記電流狭窄層が不純物を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上含む $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ ) からなる請求項1に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項3】 一対のクラッド層と、両クラッド層で挟まれた活性層と、該活性層の上方に電流通路となるストライプ状部分を除いて設けられた電流狭窄層とを有する窒化物系化合物半導体レーザ素子において、該電流狭窄層が窒化物系化合物半導体の結晶に荷電粒子を照射した高抵抗層からなる窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項4】 前記活性層と前記電流狭窄層との間に再蒸発防止層又はエッチングストップ層が設けられている請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記電流狭窄層の上方及び前記ストライプ状開口部又は前記ストライプ状部分の上方にわたってコンタクト層が設けられている請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子。

【請求項6】 請求項1に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子を製造する方法であって、

前記第1クラッド層及び前記活性層を成長させる工程と、

該活性層上に非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を成長させる工程と、

該窒化物系化合物半導体層に $80^\circ\text{C}$ 以下の温度でウェットエッチングを行って前記ストライプ状開口部を形成する工程と、

該ストライプ状開口部を埋め込むように前記第2クラッド層を成長させる工程とを含む窒化物系化合物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項7】 前記窒化物系化合物半導体層を $700^\circ\text{C}$ 未満、好ましくは $400^\circ\text{C}$ 以上 $600^\circ\text{C}$ 以下の温度で成長させる請求項6に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項8】 請求項3に記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子を製造する方法であって、

前記第1クラッド層、前記活性層及び前記第2クラッド層を成長させる工程と、

該第2クラッド層に前記ストライプ状部分を除いて荷電粒子を照射して照射部を前記電流狭窄層とする工程とを含む窒化物系化合物半導体レーザ素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、紫外領域から青色領域にわたるレーザ光を発振する窒化物系化合物半導体レーザ素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在、紫外領域から青色領域にわたるレーザ光を発振する半導体レーザ素子の材料としては、窒化物系化合物半導体 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ ) が用いられている。

【0003】この窒化物系化合物半導体レーザ素子については、従来、いくつかの構造と製造方法が提案されている。その中でも、電流狭窄と光閉じ込めとを同時にを行うことが可能な電流狭窄層を有する構造は、駆動電流を小さくでき、信頼性が高く、しかも発振横モードを安定化することができる構造として期待されている。

【0004】その一例として、図3に特開平8-97502号公報に開示されている半導体レーザ素子300の構造を示す。

【0005】この半導体レーザ素子300は、サファイア基板301、n型 $\text{GaN}$ バッファ層302、n型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 第1クラッド層303、 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 活性層304、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 第2クラッド層305、ストライプ状開口部320を有するn型 $\text{Si}$ 電流狭窄層306、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 第3クラッド層307、p型 $\text{GaN}$ コンタクト層308から構成され、第1クラッド層303、活性層304、第2クラッド層305、電流狭窄層306、第3クラッド層307及びコンタクト層308はバッファ層302を露出させるよううにその一部が除去されている。コンタクト層308の上にはp型電極309が形成され、バッファ層302の露出部上にはn型電極310が形成されている。

【0006】この従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子300においては、光吸収を有する材料からなる電流狭窄層306を活性層304近傍に形成することにより安定した光導波を実現することができる。しかし、電流狭窄層306が $\text{Si}$ からなり、活性層304で発生する光に対応するエネルギーに比べて十分に小さい禁制帯幅を有しているので、電流狭窄層306での吸収係数が $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ と大きく、導波路の導波損失が大きくなる。その結果、信頼性確保のために必要な発振閾値電流 $100 \text{ mA}$ 以下で発振する半導体レーザ素子を得ることができなかった。

【0007】また、この従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子300では、レーザ光を吸収して電流狭窄層306のストライプ状開口部320の近傍で局的に熱が発生したときに、電流狭窄層306の材料である $\text{Si}$ と $\text{GaN}$ 系材料との熱膨張係数差が $2 \times 10^{-6}$ と大きいために結晶歪みが発生し、動作中に半導体レーザ素子が破損してしまうという問題点もあった。

【0008】この問題を解決するため、電流狭窄層306にIn組成の大きなGaInNを用いることも検討されている。しかし、In組成の大きなGaInNは通常の成長温度で制御性良く成長させることができ難である。また、レーザ光の波長に対する吸収係数が $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ と大きいため、Siを用いた場合と同様に、導波路の導波損失が大きくなつて発振閾値電流100mA以上を超てしまい、信頼性が不良となつていていた。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来においては、発振閾値電流が100mA以下で横モードが安定し、しかも信頼性が高い窒化物系化合物半導体レーザ素子は実現されていなかった。

【0010】この最大の原因是、光吸収による導波路形成の役割を併せ持つ電流狭窄層において、青色～紫外光の波長領域における吸収係数が $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ と大きいために導波路の吸収損失が大きくなり過ぎて発振閾値電流が100mAを超え、半導体レーザ素子を発振させたときに素子が熱的に破損するためである。

【0011】また、熱膨張係数がGaN系材料と大きく異なるSi等の材料を電流狭窄層に用いた場合には、レーザ光の局所的吸収による素子の破損が起こるため、信頼性の高い窒化物系化合物半導体レーザ素子を得ることができなかつた。

【0012】本発明はこのような従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、低閾値電流で信頼性が高く、しかも横モードの安定な窒化物系化合物半導体レーザ素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

## 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、一対のクラッド層と、両クラッド層で挟まれた活性層と、該活性層の上方に電流通路となるストライプ状開口部を有して設けられた電流狭窄層とを有する窒化物系化合物半導体レーザ素子において、該電流狭窄層が非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を加熱して結晶化させた高抵抗層からなり、そのことにより上記目的が達成される。

【0014】前記電流狭窄層が不純物を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上含む $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ ) からなつていてもよい。

【0015】本発明の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、一対のクラッド層と、両クラッド層で挟まれた活性層と、該活性層の上方に電流通路となるストライプ状部分を除いて設けられた電流狭窄層とを有する窒化物系化合物半導体レーザ素子において、該電流狭窄層が窒化物系化合物半導体の結晶に荷電粒子を照射した高抵抗層からなり、そのことにより上記目的が達成される。

【0016】前記活性層と前記電流狭窄層との間に再蒸発防止層又はエッティングストップ層が設けられていてよい。

【0017】前記電流狭窄層の上方及び前記ストライプ状開口部又は前記ストライプ状部分の上方にわたってコンタクト層が設けられていてもよい。

【0018】本発明の窒化物系化合物半導体レーザ素子の製造方法は、本発明の窒化物系化合物半導体レーザ素子を製造する方法であつて、前記第1クラッド層及び前記活性層を成長させる工程と、該活性層上に非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を成長させる工程と、該窒化物系化合物半導体層に80°C以下の温度でウェットエッチングを行つて前記ストライプ状開口部を形成する工程と、該ストライプ状開口部を埋め込むように前記第2クラッド層を成長させる工程とを含み、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】前記窒化物系化合物半導体層を700°C未満、好ましくは400°C以上600°C以下の温度で成長させてもよい。

【0020】本発明の窒化物系化合物半導体レーザ素子の製造方法は、前記第1クラッド層、前記活性層及び前記第2クラッド層を成長させる工程と、該第2クラッド層に前記ストライプ状部分を除いて荷電粒子を照射して照射部を前記電流狭窄層とする工程とを含み、そのことにより上記目的が達成される。

【0021】以下、本発明の作用について説明する。

【0022】本発明にあつては、活性層の上方に設けられた電流狭窄層が非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を加熱して結晶化させた高抵抗層からなる。

【0023】非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体は700°C未満の低温で制御性良く成長させることができ、膜中に炭素(C)又は珪素(Si)を高濃度(例えば $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上)に含ませて極めて高抵抗にすることができるので、有効に電流を阻止することができる。

【0024】また、不純物による高抵抗化により電流狭窄層の厚みを数10nm程度にすることができるので、その上に成長されるコンタクト層の最表面を容易に平滑化できる。なお、本明細書において、高抵抗とは $1 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の抵抗率を意味するものとする。

【0025】また、後述する実施形態1に示すように、不純物準位に関する吸収係数を利用することができますので、レーザ発振波長に対する吸収係数を通常の半導体のバンドギャップ間吸収を利用した吸収係数( $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ )よりも小さい吸収係数(例えば $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ )とすることができる。よって、不要な導波路光吸収を増加させることなく光吸収による横方向への光閉じ込めを実現し、発振閾値電流を低減すると共に安定な横モード特性を得ることができる。

【0026】また、700°C未満の低温で成長させた非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体は、700°Cを超える高温で成長させた非常に強い結合を有する単結晶とは異なり、80°C以下のアルカリ系水溶液によりフォ

トリソグラフィに適した温度で容易にウェットエッチングを行うことができる。このエッチングによりストライプ状開口部を形成し、そのストライプ状開口部を埋め込むように第2クラッド層を成長させて電流通路を形成することができる。

【0027】また、この非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体は、エッチング後の再成長に至る昇温過程で構成原子が再配列され、不純物を高濃度に含んだ状態で単結晶化されるので、その上に成長される半導体層の結晶品質は劣化しない。

【0028】また、電流狭窄層として窒化物系化合物半導体 ( $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、  $0 \leq y \leq 1$ )) を用いることができるので、電流狭窄層と電流通路部分との熱膨張係数差を小さくすることができる。よって、従来のSiを用いた半導体レーザ素子のように電流狭窄層がレーザ光を吸収しても結晶歪みが生じることはなく、半導体レーザ素子が動作中に破損するのを防ぐことができる。

【0029】なお、電流狭窄層に  $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、  $0 \leq y \leq 1$ ) を用いる場合には、不純物を  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以上添加するのが好ましい。

【0030】さらに、活性層と電流狭窄層との間に再蒸発防止層を設けることにより活性層の蒸発を防ぐことができ、活性層と電流狭窄層との間にエッチングストップ層を設けることによりエッチングの制御性を向上させることができる。このエッチングストップ層と再蒸発防止層は兼用することも可能である。

【0031】本発明の他の窒化物系化合物半導体レーザ素子にあっては、活性層の上方に設けられた電流狭窄層が窒化物系化合物半導体の結晶に荷電粒子を照射した高抵抗層からなる。

【0032】例えば、活性層の上方側のクラッド層の一部に荷電粒子を照射することにより、電流通路となるストライプ状部分（非照射部）と電流狭窄層（照射部）とを制御性良く形成することができる。荷電粒子が照射された部分はキャリアトラップが高密度に形成されて高抵抗化されるので、有効に電流を阻止することができる。

【0033】また、荷電粒子照射による高抵抗化により表面のダメージを極めて小さくすることができるので、その上に成長されるコンタクト層の最表面を容易に平滑化できる。

【0034】また、後述する実施形態2に示すように、欠陥準位により吸収係数が増大して光吸収を有する電流狭窄層が得られ、レーザ発振波長に対する吸収係数を通常の半導体のバンドギャップ間吸収を利用した吸収係数 ( $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) よりも小さい吸収係数（例えば  $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ）とすることができます。よって、不要な導波路光吸収を増加させることなく光吸収による横方向への光閉じ込めを実現し、発振閾値電流を低減すると共に安定な横モード特性を得ることができる。

【0035】また、電流狭窄層として窒化物系化合物半導体 ( $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、  $0 \leq y \leq 1$ )) を用いることができるので、電流狭窄層と電流通路部分との熱膨張係数差を小さくすることができる。よって、従来のSiを用いた半導体レーザ素子のように電流狭窄層がレーザ光を吸収しても結晶歪みが生じることはなく、半導体レーザ素子が動作中に破損するのを防ぐことができる。

【0036】さらに、活性層と電流狭窄層との間に再蒸発防止層を設けることにより活性層の蒸発を防ぐことができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0038】（実施形態1）図1は実施形態1の窒化物系化合物半導体レーザ素子100の構成を示す断面図である。

【0039】この半導体レーザ素子100は、サファイア基板101のC面に、 $GaN$ バッファ層102、n型 $GaN$ コンタクト層103、n型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 第1クラッド層104、 $In_{0.25}Ga_{0.75}N$ 活性層105及びp型 $GaN$ エッチングストップ・再蒸発防止層106が積層形成されている。その上にはストライプ状開口部120を有する $GaN$ 電流狭窄層108が形成され、そのストライプ状開口部120が電流通路となっている。その上にストライプ状開口部120を埋め込んでp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 第2クラッド層107が形成され、第1クラッド層104、活性層105、エッチングストップ・再蒸発防止層106、電流狭窄層108及び第2クラッド層107はコンタクト層103を露出させるようにその一部が除去されている。コンタクト層109の上にはp型電極111が形成され、コンタクト層103の露出部上にはn型電極110が形成されている。

【0040】この半導体レーザ素子100は、以下のようにして作製した。

【0041】まず、サファイア基板（ウェハー）（C面）101をMOCVD（有機金属気相成長）装置の反応炉にセットしてリアクタ内を水素で充分に置換した後、水素及びアンモニア（ $NH_3$ ）を流しながら温度を40 1500°Cまで上昇させ、10分間保持してサファイア基板（C面）101の表面クリーニングを行った。

【0042】次に、基板温度を500°Cまで降下させ、温度を500°Cで安定させた後、トリメチルガリウム（TMG）を毎分  $3 \times 10^{-5}$  モル、 $NH_3$ を毎分5リットル流し、1分間成長を行うことにより約30nmの $GaN$ バッファ層102を成長させた。

【0043】続いて、TMGを毎分  $3 \times 10^{-5}$  モル、 $NH_3$ を毎分5リットル、シラン（ $SiH_4$ ）を毎分0.3cc流し、60分間成長を行うことにより約0.4μmのn型 $GaN$ コンタクト層103を成長させた後、TM

G、NH<sub>3</sub>に加えてトリメチルアンモニウム (TMA) を毎分  $6 \times 10^{-6}$  モル、SiH<sub>4</sub>を毎分 0.3 cc 流し、25分間成長を行うことにより約 0.2 μm の n型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第1クラッド層 104 を成長させた。この n型第1クラッド層 104 の電子濃度は  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。

【0044】その後、TMG、TMA、SiH<sub>4</sub>の供給を止めて温度を 700°C まで下降させ、温度を 700°C で安定させた後、TMG、トリメチルインジウム (TM I) を各々毎分  $4 \times 10^{-4}$  モル流し、12秒間成長を行うことにより約 10 nm の In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 活性層 105 を成長させた。この活性層 105 からの発光ピーク波長は室温で約 432 nm であった。

【0045】次に、温度を 700°C に保ったまま TMG を毎分  $3 \times 10^{-5}$  モル、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (CP<sub>2</sub>Mg) を毎分  $5 \times 10^{-6}$  モル、NH<sub>3</sub>を毎分 5 リットル流し、12秒間成長を行うことにより約 60 nm の p型 GaN 層 106 を成長させた。この p型 GaN 層 106 は活性層 105 の再蒸発防止層として機能すると共に電流狭窄層 108 にストライプ状開口部 120 を形成する際のエッチングストップ層としても機能する。

【0046】続いて、温度を 500°C で安定させ、TMG を毎分  $3 \times 10^{-5}$  モル、NH<sub>3</sub>を毎分 5 リットル流し、2分間成長を行うことにより約 60 nm の GaN 層 108 を成長させた。この低温成長 GaN 層 108 は、X線回折及び RHEED により非晶質であることを確認した。また、SIMS 測定によれば C 濃度は  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  であり、抵抗率は  $7 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$  であった。この GaN 層 108 中に高濃度に含まれる C の起源は原料 TMG の未分解メチル基であると考えられる。この GaN 層 108 への C、Si 及びその他の不純物の導入は、MOCVD 法におけるドーピングと同様に、不純物原子を含む有機化合物や水素化合物を通常用いられる II I 族原料や V 族原料と同時に供給することにより行うことができる。なお、600°C で 2 μm 成長させた同様の非晶質 GaN 膜を別途用意してレーザ発振波長における光吸収係数を測定したところ、 $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  であった。この光吸収係数は活性層 105 で発生するレーザ光を閉じ込めるのに必要充分な値であり、薄膜でも有効に光を吸収することができるので、この GaN 層 108 は活性層 105 における横方向への光閉じ込め効果を有する。

【0047】その後、通常の電子ビーム蒸着及びフォトリソグラフプロセスにより低温成長 GaN 層 108 上に幅約 1 μm のストライプ状開口部を有する SiO<sub>2</sub> マスクパターンを形成し、30°C に保った 10 標準水酸化カリウム (KOH) 溶液で 10 分間エッチングすることによりマスク開口部の GaN 層を除去してストライプ状開口部 120 を有する電流狭窄層 108 を形成した。この

とき、高温で成長された p型 GaN 層 106 は極めてエッチングされ難いため、エッチングストップ層として有効に機能する。

【0048】次に、SiO<sub>2</sub> マスクを沸化水素酸 (HF) により除去したウェハーを MOCVD 装置の反応炉にセットして温度を 1050°C まで上昇させた。温度を 1050°C で安定させた後、TMG を毎分  $4 \times 10^{-4}$  モル、TMA 及び CP<sub>2</sub>Mg を毎分  $5 \times 10^{-6}$  モル流し、25分間成長を行うことにより約 0.2 μm の p型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第2クラッド層 107 を形成した後、TMA の供給を止めて 10 分間成長を行うことにより約 0.5 μm の p型 GaN コンタクト層 109 を成長させた。このとき、低温成長された電流狭窄層 108 と再成長層である p型 第2クラッド層 107 との界面近傍では転位密度が極めて高く、第2クラッド層 107 と下部の層との間の応力を緩和して歪みを小さくすることができる。

【0049】その後、ウェハーを MOCVD 装置の反応炉から取り出し、窒素雰囲気中、700°C で 20 分間の熟処理を行うことによりマグネシウムを添加した第2クラッド層 107 とコンタクト層 109 の低抵抗 p型化を行った。この処理後の p型 第2クラッド層 107 の正孔濃度は約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であり、p型コンタクト層 109 の正孔濃度は約  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。

【0050】次に、通常の方法によりエッチングを行って n型コンタクト層 103 を露出させ、その上に Ti-Al からなる n型電極 110 を形成し、p型コンタクト層 109 上には Ni-Al からなる p型電極 111 を形成した。

【0051】その後、スライピング又はダイシングによりウェハーをチップに分割し、図 1 に示した半導体レーザ素子 100 を作製した。この半導体レーザ素子 100 は、通常の方法によりパッケージに実装して半導体レーザが完成する。

【0052】このようにして得られた半導体レーザにおいて、端面反射鏡に反射率を制御するためのコーティングを施さずに電流を流したところ、典型的な特性として、40 mA の閾値電流で 432 nm の青色波長での半導体レーザ発振が観測され、このときの立ち上がり電流 40 は 3 V であった。また、5 mW 出力時の駆動電流は 4.7 mA、そのときの効率は 0.3 W/A、駆動電圧は 3.6 V であった。また、典型的な放射角特性として垂直方向の広がり角が 1.2° で梢円率が 2 の安定したシングル横モードが得られ、100 時間以上の連続発振が確認できた。

【0053】このように本実施形態 1 によれば、40 mA という低い発振閾値電流、100 時間以上の信頼性及び安定した横モード特性の全てを満足する窒化物系化合物半導体レーザ素子を実現することが可能であった。この理由は、レーザ発振波長である青色領域において、通

常の半導体のバンド間吸収を利用した吸収係数 ( $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) よりも 1 衍以上小さい不純物準位に関与する吸収機構を電流狭窄層 108 に適用したことにより  $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  という低い吸収係数を実現することができたからであり、その結果、レーザ横モードを安定化させるのに充分な光吸収を有する導波路を実現すると共に導波路の光吸収損失を低減して閾値電流の異常な上昇を抑えることができたからである。また、電流狭窄層 108 は高濃度に不純物を含んで高抵抗化されているので、有効に電流を阻止して電流狭窄を行うことができる。

【0054】次に、本実施形態 1 の半導体レーザ素子 100 における電流狭窄層 108 の成長温度について説明する。

【0055】ここでは、電流狭窄層 108 の成長温度を上述の 500°C から 300°C、400°C、600°C 及び 700°C に変化させ、それ以外は上述した製造工程と同様にして 4 つの半導体レーザ素子を作製した。

【0056】電流狭窄層 108 の成長温度を 600°C 以下 (300°C、400°C 及び 600°C) とした半導体レーザ素子では横モードがいずれも単一横モードを示したが、電流狭窄層 108 の成長温度を 700°C とした半導体レーザ素子では電流値を変化させると発振モードの形が変化する不安定モードになった。

【0057】また、電流狭窄層 108 の成長温度を 700°C とした半導体レーザ素子では上述したようなウェットエッティングも不可能であった。

【0058】一方、発振閾値電流値は、電流狭窄層 108 の成長温度 300°C では 120 mA、成長温度 400°C では 60 mA、成長温度 600°C では 35 mA、成長温度 700°C では 17 mA であり、成長温度が高い程、発振閾値電流値が低くなる傾向を示した。このうち、電流狭窄層 108 の成長温度が 300°C の半導体レーザ素子では閾値電流が 100 mA を超え、素子寿命が 1 分しか保てないため、実用的でないことが分かった。

【0059】これらの半導体レーザ素子に対して電流狭窄層 108 に含まれる炭素密度を測定したところ、電流狭窄層 108 の成長温度 300°C では  $7 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 、成長温度 400°C では  $3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 、成長温度 600°C では  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、成長温度 700°C では  $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。また、電流狭窄層 108 でのレーザ波長に対する光吸収係数は、電流狭窄層 108 の成長温度 300°C では  $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 、成長温度 400°C では  $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 、成長温度 600°C では  $1 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 、成長温度 700°C では  $1 \times 10^2 \text{ cm}^{-1}$  であった。

【0060】従って、本実施形態 1において、電流狭窄層 108 に適度な光吸収を実現し、レーザ発振の横モードを安定させて閾値電流の不要な上昇を防ぐためには、電流狭窄層 108 の成長温度を 400°C～600°C とするのが好ましく、また、電流狭窄層 108 の炭素密度を

$3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  とするのが好ましいことが分かった。

【0061】なお、本実施形態 1において、電流狭窄層 108 は  $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ ) の全ての組成で形成可能であるが、Al 組成が高い場合には高抵抗化、対エッティング性低下及び光吸収係数低下の傾向があり、In 組成が高い場合には低抵抗化、対エッティング性低下及び光吸収係数増加の傾向がある。従って、本実施形態 1 では、これらの 3 要素を検討して最も良好な特性を示す GaN を用いて電流狭窄層 108 を形成した。

【0062】(実施形態 2) 図 2 は実施形態 2 の窒化物系化合物半導体レーザ素子 200 の構成を示す断面図である。

【0063】この半導体レーザ素子 200 は、サファイア基板 201 の C 面に、GaN パッファ層 202、n 型 GaN コンタクト層 203、n 型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第 1 クラッド層 204、In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 活性層 205、p 型 GaN 再蒸発防止層 206 及び p 型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第 2 クラッド層 207 が積層形成されている。第 2 クラッド層 207 にはストライプ状部分 220 を除いて荷電粒子が照射され、照射部が電流狭窄層 208 となり、ストライプ状部分 220 が電流通路となっている。第 1 クラッド層 204、活性層 205、再蒸発防止層 206、第 2 クラッド層 207 及び電流狭窄層 208 はコンタクト層 203 を露出させるようにその一部が除去されている。コンタクト層 209 の上には p 型電極 211 が形成され、コンタクト層 203 の露出部上には n 型電極 210 が形成されている。

【0064】この半導体レーザ素子 200 は、以下のようにして作製した。

【0065】まず、実施形態 1 と同様の製造工程によりサファイア基板 (ウェハー) (C 面) 201 上に GaN パッファ層 202、n 型 GaN コンタクト層 203、n 型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第 1 クラッド層 204、In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 活性層 205、p 型 GaN 再蒸発防止層 206 及び p 型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N 第 2 クラッド層 207 を成長させた後、ウェハーを MOCVD 装置の反応炉から取り出す。

【0066】次に、取り出したウェハーを収束イオンビーム装置にセットし、幅約  $1 \mu\text{m}$  のストライプ状部分 220 を除いた部分に  $10 \times 15 \text{ cm}^{-2}$  のドーザ量で Ga イオンの打ち込みを行った。ここでは、Ga イオン注入領域のパターンを電流狭窄層 208 のパターンとし、Ga イオンの注入深さが  $0.4 \mu\text{m}$  となるように Ga イオンの加速電圧を設定した。このとき、Ga イオンが照射された領域 (電流狭窄層 208) の抵抗率は  $6 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$  であった。ここで、窒化物系化合物半導体は構成原子の結合が強いためイオン照射によるエッティング量が極めて少なく、また、C 軸方向に一様にエッティングさ

れるので、イオン照射後の表面は平滑に保たれ、イオン照射部と非照射部との段差を表面段差計を用いて測定したところ、3 nmであった。また、熔融KOHによるエッチピットを観察したところ、密度は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ であり、as grown GaN単結晶膜に対して2桁以上高い密度であった。さらに、Gaイオン照射領域（電流狭窄層208）の光吸収係数は $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ であり、Gaイオン非照射領域に比べて充分大きいことが確認された。

【0067】統いて、ウェハーをMOCVD装置の反応炉にセットして温度を1050°Cまで上昇させ、温度を1050°Cで安定させた後、TMGを毎分 $4 \times 10^{-4}$ モル、CP<sub>2</sub>Mgを毎分 $5 \times 10^{-6}$ モル流し、10分間成長を行うことによりp型クラッド層207及び電流狭窄層208の表面に約0.5 μmのp型GaNコンタクト層209を成長させた。

【0068】その後、ウェハーをMOCVD装置の反応炉から取り出し、窒素雰囲気中、700°Cで20分間の熱処理を行うことによりマグネシウムを添加した第2クラッド層207とコンタクト層209の低抵抗p型化を行った。この処理後のp型第2クラッド層207の正孔濃度は約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、p型コンタクト層209の正孔濃度は約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。一方、電流狭窄層208はGaイオン照射によりキャリアトラップが高濃度に形成されているため、熱処理を行っても低抵抗化することはない。

【0069】次に、通常の方法によりエッチングを行ってn型コンタクト層203を露出させ、その上にTi-Alからなるn型電極210を形成し、p型コンタクト層209上にはNi-Alからなるp型電極211を形成した。

【0070】その後、スクライピング又はダイシングによりウェハーをチップに分割し、図2に示した半導体レーザ素子200を作製した。この半導体レーザ素子200は、通常の方法によりパッケージに実装して半導体レーザが完成する。

【0071】このようにして得られた半導体レーザにおいて、端面反射鏡に反射率を制御するためのコーティングを施さずに電流を流したところ、典型的な特性として、50mAの閾値電流で432nmの青色波長での半導体レーザ発振が観測され、このときの立ち上がり電流は3Vであった。また、5mW出力時の駆動電流は4.7mA、そのときの効率は0.3W/A、駆動電圧は3.6Vであった。また、典型的な放射角特性として垂直方向の広がり角が12°で梢円率が2の安定したシングル横モードが得られ、100時間以上の連続発振が確認できた。

【0072】このように本実施形態2においても、50mAという低い発振閾値電流、100時間以上の信頼性及び安定した横モード特性の全てを満足する窒化物系化

合物半導体レーザ素子を実現することが可能であった。この理由は、レーザ発振波長である青色領域において、通常の半導体のバンド間吸収を利用した吸収係数（ $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ）よりも小さい $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ という低い吸収係数を実現することができたからであり、その結果、レーザ横モードを安定化させるのに充分な光吸収を有する導波路を実現すると共に導波路の光吸収損失を低減して閾値電流の異常な上昇を抑制することができたからである。また、電流狭窄層208は荷電粒子照射によりキャリアトラップが高密度に形成されて高抵抗化されているので、有効に電流を阻止して電流を狭窄することができる。

【0073】なお、本実施形態2においては、ビームを精密に制御でき、SiO<sub>2</sub>等のマスクを用いることなくパターンの描画が可能である収束イオンビームを用いたが、マスクを用いたイオン打ち込みによっても同様に電流狭窄層208を形成可能である。

【0074】また、本実施形態2において、電流狭窄層208はp型第2クラッド層207の一部に荷電粒子を照射して形成したが、照射部はこれに限定されない。

【0075】以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態1及び実施形態2において示した材料や層構造の組み合わせに限らず、例えば、GaN活性層/AIGaNクラッド層等の組み合わせで構成されるダブルヘテロ構造や窒化物系化合物半導体で構成される単一量子井戸（SQW）及び多重量子井戸（MQW）を活性層として有する窒化物系化合物半導体レーザ素子に対しても本発明を適用可能である。また、上記実施形態1及び2においては、サファイア基板のC面上に半導体層を成長させた例について説明したが、サファイア基板のA面、M面、R面やSiC、GaAsやZnO等公知の基板を使用することが可能である。また、n型基板上に半導体層を成長させたレーザ構造及びp型基板上に半導体層を成長させたレーザ構造のいずれに対しても本発明は適用可能である。さらに、半導体レーザ素子の製造工程で使用される膜の成長方法としては、以上の説明で言及したMOCVD法以外に、MBE（分子線エピタキシー）法、LPE（液相成長）法、MO-MBE法、或いはALE（原子エピタキシー）法などの適用が可能である。

【0076】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明による場合には、窒化物系化合物半導体レーザ素子における電流狭窄層が非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体層を加熱して結晶化させた高抵抗層からなり、或いは窒化物系化合物半導体の結晶に荷電粒子を照射した高抵抗層からなるので、電流を有効に狭窄すると共に光閉じ込めを行うことができる。この電流狭窄層によれば通常の半導体のバンド間吸収を利用した吸収係数（ $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ）よりも小さい吸収係数を実現することができるの

で、レーザ発振の際の閾値電流を低減すると共に半導体レーザ素子各部での発熱量を少なくすることができる。よって、従来では実現できなかった低駆動電流で信頼性が高く発振の横モードが安定した窒化物系化合物半導体レーザ素子を実現することが可能となる。

【0077】また、本発明にあっては、非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体を700°C未満の低温で制御性良く成長させることができ、膜中に炭素(C)又は珪素(Si)を高濃度(例えば $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上)に含ませて極めて高抵抗にすることができる。よって、有効に電流を阻止すると共に必要充分な吸収係数を有する電流狭窄層を作製することができる。この非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体は、フォトリソグラフィに適した80°C以下の温度で容易にウェットエッチング可能であるので、半導体レーザ素子の歩留まりを大幅に向かうことができる。また、この非晶質又は多結晶の窒化物系化合物半導体は、エッチング後の再成長に至る昇温過程において不純物を高濃度に含んだ状態で単結晶化されるので、その上の半導体層の結晶品質を良好にして優れた素子特性を実現することができる。さらに、電流狭窄層として従来では使用困難であった窒化物系化合物半導体( $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ))を用いることができるので、半導体レーザ素子の動作中の破損を防いで信頼性を大幅に向かうことができる。

【0078】また、本発明にあっては、活性層の上方側のクラッド層にストライプ状部分を除いて荷電粒子を照射することにより照射部を高抵抗化することができるので、電流通路となるストライプ状部分(非照射部)と電流狭窄層(照射部)とを制御性良く形成することができる。電流狭窄層は欠陥準位により吸収係数が増大するので、必要充分な光吸収を有する電流狭窄層が得られる。

また、荷電粒子照射による高抵抗化により表面のダメージを極めて小さくすることができるので、半導体レーザ素子の歩留まりを大幅に向かうことができる。さらに、電流狭窄層として従来では使用困難であった窒化物系化合物半導体( $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ))を用いることができるので、半導体レーザ素子の動作中の破損を防いで信頼性を大幅に向かうことができる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】実施形態1の窒化物系化合物半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【図2】実施形態2の窒化物系化合物半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【図3】従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【符号の説明】

100、200 半導体レーザ素子

101、201 基板

102、202 バッファ層

20 103、203 n型コンタクト層

104、204 n型第1クラッド層

105、205 活性層

106 p型エッチングトップ・再蒸発防止層

107、207 p型第2クラッド層

108、208 電流狭窄層

109、209 p型コンタクト層

110、210 n型電極

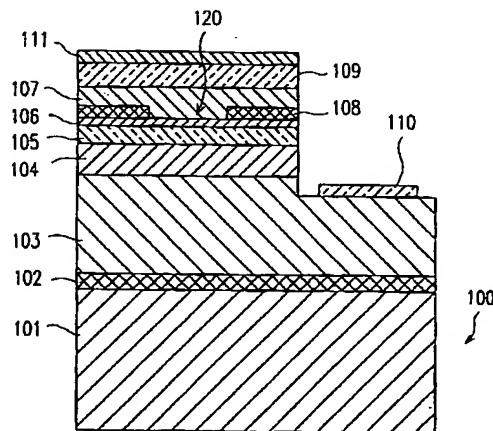
111、211 p型電極

120 ストライプ状開口部

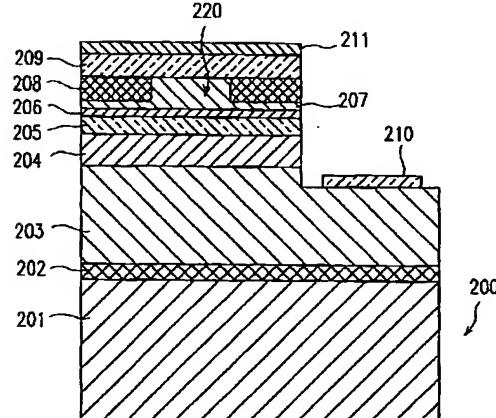
30 206 p型再蒸発防止層

220 ストライプ状部分

【図1】



【図2】



【図3】

